

Торайғыров университетінің хабаршысы  
ҒЫЛЫМИ ЖУРНАЛЫ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ  
Вестник Торайғыров университета

---

# Торайғыров университетінің ХАБАРШЫСЫ

Энергетикалық сериясы  
1997 жылдан бастап шығады



## ВЕСТНИК Торайғыров университета

Энергетическая серия  
Издается с 1997 года

ISSN 2710-3420

**№ 1 (2025)**

---

ПАВЛОДАР

**НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ**  
**Вестник Торайгыров университета**

**Энергетическая серия**  
выходит 4 раза в год

---

**СВИДЕТЕЛЬСТВО**

о постановке на переучет периодического печатного издания,  
информационного агентства и сетевого издания

№ 14310-Ж

выдано

Министерство информации и общественного развития  
Республики Казахстан

**Тематическая направленность**

публикация материалов в области электроэнергетики,  
электротехнологии, автоматизации, автоматизированных и  
информационных систем, электромеханики и теплоэнергетики

**Подписной индекс – 76136**

---

<https://doi.org/10.48081/PXLE1275>

**Бас редакторы – главный редактор**

Талипов О. М.

*доктор PhD, ассоц. профессор (доцент)*

Заместитель главного редактора

Калтаев А.Г., *доктор PhD*

Ответственный секретарь

Сағындық Ә.Б., *доктор PhD*

**Редакция алкасы – Редакционная коллегия**

|                  |                                                 |
|------------------|-------------------------------------------------|
| Клецель М. Я.,   | <i>д.т.н., профессор</i>                        |
| Никифоров А. С., | <i>д.т.н., профессор</i>                        |
| Новожилов А. Н., | <i>д.т.н., профессор</i>                        |
| Никитин К. И.,   | <i>д.т.н., профессор (Российская Федерация)</i> |
| Алиферов А. И.,  | <i>д.т.н., профессор (Российская Федерация)</i> |
| Кошеков К. Т.,   | <i>д.т.н., профессор</i>                        |
| Приходько Е. В., | <i>к.т.н., профессор</i>                        |
| Кислов А. П.,    | <i>к.т.н., доцент</i>                           |
| Нефтисов А. В.,  | <i>доктор PhD</i>                               |
| Омарова А. Р.    | <i>технический редактор</i>                     |

---

За достоверность материалов и рекламы ответственность несут авторы и рекламодатели

Редакция оставляет за собой право на отклонение материалов

При использовании материалов журнала ссылка на «Вестник Торайгыров университета» обязательна

<https://doi.org/10.48081/UFAQ2908>**А. Н. Новожилов<sup>1</sup>, \*А. Е. Анарбаев<sup>2</sup>, Т. А. Новожилов<sup>3</sup>**<sup>1,2</sup>Торайгыров университет, Республика Казахстан, г. Павлодар<sup>3</sup>Омский Государственный Технический университет

Российская Федерация, г. Омск

<sup>1</sup>ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7530-5034><sup>2</sup>ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6890-8005><sup>3</sup>ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0293-7852>\*e-mail: [alibek\\_anarbaev@mail.ru](mailto:alibek_anarbaev@mail.ru)

## **МЕТОДЫ ДИАГНОСТИКИ ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ ГЛАВНОГО ВАЛА ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ**

*Во время эксплуатации ветроэнергетической установки (ВЭУ) нагрузки от лопастей приходятся на главный вал ветропривода и его подшипники. Именно это и является одной из основных причин их износа и выхода из строя. При этом размеры повреждения ВЭУ, а, следовательно, времени и стоимости ремонта зависят от используемого метода диагностики подшипников качения главного вала.*

*Как показал анализ все известные методы диагностики подшипников качения главного вала ВЭУ можно разделить на токовые, акустические и вибрационные методы, а также метод ударных импульсов. При этом выяснилось, что наиболее эффективными, надежными и хорошо зарекомендовавшими себя в диагностике ВЭУ являются многочисленные вибрационные методы.*

*В этих методах выявления повреждений в подшипниках качения главного вала осуществляется путем исследования временной, частотной, частотно-временных областей измеряемого вибрационного сигнала, получаемого тем или иным способом. Однако, как показал анализ возможностей этих методов, и они не всегда достаточно способны оценить величину износа подшипников главного вала ВЭУ. В тоже время некоторые из них могут служить основой для разработки методов в значительной степени лишенной этого недостатка.*

*Ключевые слова: Ветроэнергетическая установка, главный вал, подшипники качения, методы диагностики, вибрационные методы.*

### Введение

Выработка электрической энергии на тепловых станциях, работающих на сжигании ископаемого топлива в виде угля, нефтепродуктов или природного газа сопровождается выбросами в атмосферу твердых частиц в виде пыли, а также оксидов азота и диоксида серы. Все это вызывает негативное влияние как на здоровье людей, так на природу. При этом расходуется большое количество дорогостоящего ископаемого топлива. Одним из решений этой проблемы является использование в качестве источника энергии ветра. В связи с этим в настоящее время для выработки электроэнергии практически во всех странах стали массово использоваться ветроэнергетические установки (ВЭУ).

С 2000 по 2015 год совокупная ветровая мощность во всем мире увеличилась с 17 000 мВт до 430 000 мВт. При этом в 2015 году Китай обогнал страны Европейского союза по количеству установленных ветряных турбин и продолжает лидировать в их установке. По прогнозам экспертов в данной области если такие темпы роста сохранятся, то к 2050 году одна треть мировых потребностей в электроэнергии будет удовлетворяться за счет энергии ветра [1].

В настоящее время среди ВЭУ наиболее перспективными и широко используемыми являются те, которые используют четырехточечную кинематическую схему. Эта схема представлена на рисунке 1.

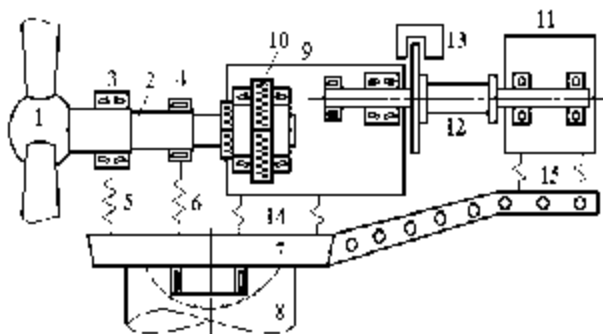


Рисунок 1 – Четырехточечная кинематическая схема ВЭУ

Из этого рисунка видно, что ветропривод 1 закрепляется на главном валу 2, который, в свою очередь, с помощью подшипников 3 и 4, а также

амортизаторов 5 и 6 устанавливается на станине 7. В свою очередь станина 7 с помощью подшипника поворота закрепляется на верхнем основании башни 8. К главному валу 2 присоединена коробка передач 9 с планетарным редуктором 10. С помощью этого редуктора осуществляется увеличения скорости вращения вала генератора 11 до величины, необходимой для номинальной работы. Генератор 11 соединяется с выходным валом коробки передач через гибкую муфту 12. Остановка вращения ветропривода 1 осуществляется с помощью тормозного диска 13 механического тормоза, имеющего гидравлический привод. Крепление коробки передач 9 и генератора 11 к станине 7 осуществляется с помощью амортизаторов 14 и 15. При такой кинематической схеме изгибающие нагрузки от ветропривода приходятся на главные подшипники 3 и 4 [2].

Как известно ветер является величиной переменной. В процессе эксплуатации под его воздействием на лопасти возникают изгибающие моменты не только в лопастях ВЭУ, но и в его главном валу. Это, в свою очередь, сопровождается осевыми и радиальными переменными нагрузками [3], воздействующими на его подшипники. Именно это и является одной из основных причин их износа и повреждения [4]. К другим причинам износа подшипников следует отнести попадание продуктов их износа в смазочный материал [5].

### Материалы и методы

В соответствии с [6] в настоящее время для мониторинга состояния и диагностики неисправности подшипников главного вала ВЭУ используются методы, приведенные на рисунке 2. Как из него видно эти методы делятся на пять основных групп.



Рисунок 2 – Классификация методов диагностики подшипников главного вала ВЭУ

Токовый метод. В силу конструктивных особенностей некоторые типы ВЭУ работают по методу прямого привода. В этом случае из-за неравномерной скорости ветродвигателя любые неисправности в подшипниках будут приводить к появлению в токе статора генератора высших гармоник [7].

Однако этот метод невозможно использовать для ВЭУ с редуктором. Кроме того, он может быть недостаточно чувствительным для выявления небольших дефектов или начальных стадий износа подшипников, так как при этом следует учитывать наличие гармоник тока в сети вызванных иными причинами.

**Метод сопоставления.** Метод сопоставления основан на измерении сигналов датчиков из нескольких источников на момент монтажа ВЭУ, и сопоставлении их с текущими показаниями датчика [8].

Недостаток метода заключается в том, что для построения надежной модели требуется большое количество данных о нормальном и дефектном состоянии подшипников. Нехватка таких данных или плохое их качество снижает точность этого метода.

**Акустический метод.** Этот метод основан на измерении волн энергии, генерируемых быстрым высвобождением такой энергии из локализованных источников внутри материала, когда он подвергается механическим или термическим напряжениям [9]. Типичная частота сигналов акустической эмиссии находится в пределах от 100 кГц до 1 МГц [10].

Недостатками этого метода является чувствительность к внешним факторам в виде вибрации от соседних узлов конструкции ВЭУ, шумов и перепадов температуры окружающей среды и загрязнение смазки. Для предотвращения ложной работы устройств диагностики их чувствительность приходится снижать. Что в свою очередь может привести к разрушению подшипников, сопровождающемуся возможным повреждением других элементов ВЭУ.

**Метод ударных импульсов.** Метод ударных импульсов основан на измерении затухающих колебаний в материале, например, станины. Эти затухающие колебания имеют высокую частоту, которая составляет порядка 32 кГц и достаточно быстро затухают [11]. Измерение этих затухающих колебаний осуществляется с помощью пьезоэлектрических преобразователей с резонансной частотой 32 кГц [12]. Он эффективно работает как полосовой фильтр, поскольку только ударные импульсы будут вызывать резонансную частоту пьезоэлектрических кристаллов.

Однако этот метод неспособен обнаруживать зарождающиеся повреждения в подшипниках на крайне низких оборотах главного вала, так как интенсивность ударных импульсов в этом случае будет трудно различимой.

**Вибрационный метод.** Вибрационный метод является наиболее эффективным, надежным и хорошо зарекомендовавшим себя в диагностике ВЭУ [13]. Используя анализ сигналов с вибродатчиков можно обнаружить наличие отказа или даже предстоящий отказ подшипников.

Для надёжного выявления дефектов на ранних стадиях необходимы высокочувствительные вибродатчики и соответствующее программное обеспечение. Все это требует значительных финансовых вложений.

Вибрационные методы весьма разнообразны и является мощным инструментом для диагностики ВЭУ. В соответствии с [14] эти методы можно разделить на четыре основные группы. Эти группы приведены на рисунке 3.



Рисунок 3 – Классификация методов диагностики подшипников главного вала ВЭУ по вибрации

Первый метод основан на исследовании временной области измеряемого сигнала. Для реализации этого метода можно воспользоваться обычным осциллографом. В этом случае по полученным осциллограммам осуществляется анализ значений сигнала вибрации непосредственно во времени без преобразования их в частотную или другую область. Такой подход позволяет улавливать быстрые изменения в динамике системы. Многообещающим для применения в ВЭУ можно считать метод внутренней декомпозиции по временной шкале [15]. Суть этого метода заключается в разложении сложного сигнала на базовую составляющую и ее высокочастотные временные компоненты.

Однако временные данные, полученные с вибродатчиков чувствительны к различным внешним факторам, которые могут значительно затруднять интерпретацию полученных результатов. При этом достаточно сложно выявить конкретные причины дефектов. Для этого требуется дополнительный анализ или переход к частотной области.

Второй метод основан на исследовании частотной области измеряемого сигнала. Он заключается в том, что поврежденные системы могут выдавать частотные характеристики, отличающиеся от тех, которые наблюдаются в нормальных условиях. При использовании этого метода вибрационный сигнал, полученный во временной области, преобразуется в частотную область с помощью, например, метода быстрого преобразования Фурье [16]. Суть этого метода заключается в представлении любого сигнала как суммы гармонических сигналов различных частот и амплитуд.

Однако этот метод также чувствителен к внешним факторам, которые могут скрывать или искажать важные частотные компоненты, связанные с неисправностями подшипников. Кроме того, для реализации метода требуется качественное оборудование в виде чувствительные акселерометры и анализаторов спектра частот.

Третий метод основан на исследовании частотно – временной области измеряемого сигнала. Этот метод позволяет выявить такие повреждения как трещины в обоймах подшипников и износ их шариков путем анализа сигналов в частотно-временной области [17]. Суть этого метода заключается в разложении сигнала с помощью вейвлет-преобразование [18] на компоненты разной частоты с привязкой к времени. Это особенно важно для анализа вибраций, при которых возникают кратковременные импульсов.

Однако в условиях высокого уровня помех выделение требуемых сигналов может быть затруднено. В связи с этим может потребоваться дополнительная фильтрация или обработка исходного сигнала. Кроме того, этот метод чувствителен к изменениям режима работы оборудования ВЭУ в виде скорости вращения главного вала или изменение нагрузки.

Четвертый метод основан на использовании алгоритмов машинного обучения при исследовании параметров измеряемого сигнала. Он совмещает обработку вибрационного сигнала с обучением моделей для прогнозирования износа подшипников. Этот метод позволяет автоматически выявлять дефекты подшипников по сигналам вибрации. То есть отпадает необходимость их ручной интерпретации [19].

Однако для реализации этого метода требуется большие объемы данных, включая данные о частотных характеристиках отдельных элементов кинематической схемы ВЭУ, которые в различных типах ВЭУ могут быть различны. При этом эти данные получаемые в процессе диагностики могут содержать помехи, вызванные воздействиями различного рода. Все это может настолько усложнить процесс диагностирования, что на практике его реализация станет невозможной.

### **Результаты и обсуждение**

Технико-экономическая эффективность использования всех рассмотренных методов диагностики заключается в возможности выявления на раннем этапе износа подшипников главного вала в ВЭУ и информировании об этом обслуживающего персонала. Что позволяет своевременно выявить предельный износ подшипников, а значит уменьшить размеры повреждения элементов кинематической схемы ВЭУ, а, следовательно, сократить время и стоимость ее после аварийного ремонта.

## Выводы

1 Как показал анализ известных методов диагностики подшипников главного вала ВЭУ наиболее эффективным и хорошо зарекомендовавшим себя методом является вибрационный метод.

2 Практически всегда реализация вибрационного метода осуществляется путем исследования получаемого сигнала во временной, частотной или частотно – временной областях. Однако не всегда эти методы позволяют достаточно точно оценить величину износа подшипников главного вала ВЭУ.

3 Разработка новых более чувствительных методов диагностики должна базироваться на совершенствовании вибрационных методов. Что позволит сократить размеры повреждений элементов кинематической схемы ВЭУ, а, следовательно, уменьшить время и стоимость ее после аварийного ремонта.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 <https://www.nationalgeographic.com/environment/article/wind-power>
- 2 **Whittle, M.** Wind turbine drivetrain technology and cost drivers. In Proceedings of FRENS 2012, 2012.
- 3 **Baldwin, B.** Increasing bearing reliability in a main shaft support system. White Paper, Timken.
- 4 Ingrid Kovaříková, Beáta Szewczyková, Pavel Blaškovitš, Erika Hodúlová, Emil Lechovič, Study and characteristic of abrasive wear mechanisms, Mater. Sci. Technol. (2009) 1335–9053.
- 5 **Ai, X.** Effect of debris contamination on the fatigue life of roller bearings (2001) Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part J: Journal of Engineering Tribology, 215 (6), P. 563–575. doi: 10.1243/1350650011543808
- 6 **Kandukuri, S. T., Klausen, A., Karimi, H. R., Robbersmyr, K. G.** A review of diagnostics and prognostics of low-speed machinery towards wind turbine farm-level health management (2016) Renewable and Sustainable Energy Reviews, 53, P. 697-708. doi: 10.1016/j.rser.2015.08.061
- 7 **Yang, W., Tavner, P.J., Wilkinson, M.R.** Condition monitoring and fault diagnosis of a wind turbine synchronous generator drive train (2009) IET Renewable Power Generation, 3 (1), P. 1–11. doi: 10.1049/iet-rpg:20080006
- 8 **Yin, S., Ding, S. X., Xie, X., Luo, H.** A review on basic data-driven approaches for industrial process monitoring (2014) IEEE Transactions on Industrial Electronics, 61 (11), art. No. 6717991, P. 6418-6428. doi: 10.1109/TIE.2014.2301773
- 9 **Al-Dossary, S., Hamzah, R.I.R., Mba, D.** Observations of changes in acoustic emission waveform for varying seeded defect sizes in a rolling

element bearing (2009) *Applied Acoustics*, 70 (1), P. 58–81. doi: 10.1016/j.apacoust.2008.01.005

10 **Elforjani, M., Mba, D.** Natural mechanical degradation measurements in slow speed bearings (Открытый доступ) (2009) *Engineering Failure Analysis*, 16 (1), P. 521–532. doi: 10.1016/j.engfailanal.2008.06.005

11 The Shock Pulse Method for Determining Condition of Anti-friction Bearings. SPM Technical Information, Sweden: SPM Instruments AB

12 **Yang, R., Kang, J., Zhao, J., Li, J., Li, H.** A case study of bearing condition monitoring using SPM (2014) *Proceedings of 2014 Prognostics and System Health Management Conference, PHM 2014*, art. No. 6988262, P. 695–698. doi: 10.1109/PHM.2014.6988262

13 **Lu, B., Li, Y., Wu, X., Yang, Z.** A review of recent advances in wind turbine condition monitoring and fault diagnosis (2009) *2009 IEEE Power Electronics and Machines in Wind Applications, PEMWA 2009*, art. No. 5208325. doi: 10.1109/PEMWA.2009.5208325

14 **Liu, Z., Zhang, L.** A review of failure modes, condition monitoring and fault diagnosis methods for large-scale wind turbine bearings (Открытый доступ) (2020) *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation*, 149, art. No. 107002. doi: 10.1016/j.measurement.2019.107002

15 **Frei, M. G., Osorio, I.** Intrinsic time-scale decomposition: Time-frequency-energy analysis and real-time filtering of non-stationary signals (2007) *Proceedings of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 463 (2078), P. 321–342. doi: 10.1098/rspa.2006.1761

16 **Arun, P., Lincon, S. A., Prabhakaran, N.** Detection and Characterization of Bearing Faults from the Frequency Domain Features of Vibration (2018) *IETE Journal of Research*, 64 (5), pp. 634–647. doi: 10.1080/03772063.2017.1369369

17 **Antoniadou, I., Manson, G., Staszewski, W. J., Barszcz, T., Worden, K.** A time-frequency analysis approach for condition monitoring of a wind turbine gearbox under varying load conditions (2015) *Mechanical Systems and Signal Processing*, 64–65, art. no. 3823, P. 188–216. doi: 10.1016/j.ymssp.2015.03.003

18 **Basu, B., Nagarajaiah, S., Chakraborty, A.** Online identification of linear time-varying stiffness of structural systems by wavelet analysis (2008) *Structural Health Monitoring*, 7 (1), P 21–36. doi: 10.1177/1475921707081968

19 **Purarjomandlangrudi, A., Nourbakhsh, G., Ghaemmaghami, H., Tan, A.** Application of anomaly technique in wind turbine bearing fault detection (2014) *IECON Proceedings (Industrial Electronics Conference)*, art. o. 7048774, P. 1984 1988. doi: 10.1109/IECON.2014.7048774

Поступило в редакцию 05.01.25

Поступило с исправлениями 09.01.25

А. Н. Новожиллов<sup>1</sup>, \*А. Е. Анарбаев<sup>2</sup>, Т. А. Новожиллов<sup>3</sup>,

<sup>1,2</sup>Торайғыров университеті, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.

<sup>3</sup>Омбы мемлекеттік техникалық университеті,

Ресей Федерациясы, Омбы қ.

05.01.25 ж. баспаға түсті.

09.01.25 ж. түзетулерімен түсті.

10.03.25 ж. басып шығаруға қабылданды.

## **ЖЕЛ ЭЛЕКТР ҚОНДЫРҒЫСЫНЫҢ НЕГІЗГІ БІЛІГІНІҢ ЖЫЛЖЫМАЛЫ МОЙЫНТІРЕКТЕРІН ДИАГНОСТИКАЛАУ ӘДІСТЕРІ**

*Жел энергетикалық қондырғыны (ЖЭҚ) пайдалану кезінде қалақтардан түсетін жүктемелер жел жетегінің негізгі білігіне және оның мойынтіректеріне түседі. Бұл олардың тозуы мен істен шығуының негізгі себептерінің бірі. Бұл жағдайда ЖЭҚ зақымдану мөлшері, демек, жөндеу уақыты мен құны негізгі біліктің жылжымалы мойынтіректерін диагностикалаудың қолданылатын әдісіне байланысты.*

*Талдау көрсеткендей, ЖЭҚ негізгі білігінің жылжымалы мойынтіректерін диагностикалаудың барлық белгілі әдістерін ток, акустикалық және діріл әдістеріне, сондай-ақ соққы импульстік әдісіне бөлуге болады. Сонымен қатар, ЖЭҚ диагностикасында ең тиімді, сенімді және жақсы дәлелденген көптеген діріл әдістері екендігі анықталды.*

*Негізгі біліктің жылжымалы мойынтіректеріндегі зақымдануды анықтаудың бұл әдістерінде өлшенетін діріл сигналының сол немесе басқа тәсілмен алынған уақыт, жиілік, жиілік-уақыт аймақтарын зерттеу арқылы жүзеге асырылады. Алайда, бұл әдістердің мүмкіндіктерін талдау көрсеткендей және олар әрдайым ЖЭҚ негізгі білігінің мойынтіректерінің тозу мөлшерін бағалай алмайды. Сонымен қатар, олардың кейбіреулері осы кемшіліктен айтарлықтай айырылған әдістерді өзірлеуге негіз бола алады.*

*Кілтті сөздер: жел қондырғысы, негізгі білік, домалау мойынтіректері, диагностикалық әдістер, діріл әдістері.*

A. N. Novozhilov<sup>1</sup>, \*A. E. Anarbayev<sup>2</sup>, T. A. Novozhilov<sup>3</sup>

<sup>1,2</sup>Toraighyrov University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar

<sup>3</sup>Omsk State Technical University, Omsk, Russian Federation

Received 05.01.25

Received in revised form 09.01.25

Accepted for publication 10.03.25

## METHODS FOR DIAGNOSING ROLLING BEARINGS OF THE MAIN SHAFT IN WIND TURBINE

*During operation of a wind turbine (WT), the blade loads fall on the main shaft of the wind turbine and its bearings. This is one of the main reasons for their wear and failure. At the same time, the extent of damage to the WT, and, consequently, the time and cost of repairs depend on the method used to diagnose the rolling bearings of the main shaft.*

*As the analysis showed, all known methods for diagnosing the rolling bearings of the WT main shaft can be divided into current, acoustic and vibration methods, as well as the shock pulse method. It turned out that the most effective, reliable and well-proven in the diagnostics of WT are numerous vibration methods.*

*In these methods, damage to the rolling bearings of the main shaft is detected by studying the time, frequency, frequency-time domains of the measured vibration signal obtained in one way or another. However, as the analysis of the capabilities of these methods showed, they are not always sufficiently capable of assessing the amount of wear of the bearings of the main shaft of the WT. At the same time, some of them can serve as a basis for developing methods largely free of this drawback.*

*Keywords: Wind turbine, main shaft, rolling bearings, diagnostic methods, vibration methods.*

Теруге 10.03.2025 ж. жіберілді. Басуға 28.03.2025 ж. қол қойылды.

Электронды баспа

29.9 Mb RAM

Шартты баспа табағы 22,2. Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.

Компьютерде беттеген: А. К. Мыржикова

Корректор: А. Р. Омарова, Д. А. Кожас

Тапсырыс №4358

Сдано в набор 10.03.2025 г. Подписано в печать 28.03.2025 г.

Электронное издание

29.9 Mb RAM

Усл. печ. л. 22,2. Тираж 300 экз. Цена договорная.

Компьютерная верстка: А. К. Мыржикова

Корректор: А. Р. Омарова, Д. А. Кожас

Заказ № 4358

«Toraighyrov University» баспасынан басылып шығарылған

Торайғыров университеті

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

«Toraighyrov University» баспасы

Торайғыров университеті

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

67-36-69

E-mail: kereku@tou.edu.kz

www.vestnik-energy.tou.edu.kz